

В работе представлен один из возможных подходов к исследованию и проектированию сложных систем, базирующийся на методах имитационного моделирования и соответствующих стратегиях поиска оптимальных решений. На основе данного подхода решается задача оценки и выбора альтернативных проектов применительно к морскому доку, включающего в свою инфраструктуру нефтеочистительную установку.

© В.П. Коваль, В.А. Пепеляев,
Ю.М. Чёрный, 2004

УДК 517.7: 618.3.06

В.П. КОВАЛЬ, В.А. ПЕПЕЛЯЕВ, Ю.М. ЧЁРНЫЙ

ОБ ОЦЕНКЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Введение. В условиях становления рыночной экономики и расширения внешнеэкономических связей Украины актуальными становятся вопросы исследования процессов функционирования отечественных транспортных систем, в частности систем водного транспорта.

Мировая практика исследования и проектирования подобного рода систем опирается, в первую очередь, на широкое использование методов и средств имитационного моделирования, реализованных на современных вычислительных платформах и парадигмах программирования. На всемирном форуме имитаторов Winter Simulation Conference (2000–2003) и Европейском симпозиуме – European Simulation System (2001–2003), был представлен широкий спектр докладов и сообщений, посвященных различным аспектам проблематики водного транспорта (перевозка и доставка грузов, вопросы логистики, эксплуатации, надежности, управления процессами функционирования портов). Об актуальности указанной тематики свидетельствуют и материалы ежегодной конференции The International Workshop Harbour, Marytime & Multimodal Logistics Modeling and Simulation – HMS (HMS 2001, HMS 2002, HMS 2003), посвященной главным образом проблемам изучения процессов функционирования крупных мультимодальных транспортных терминалов (в том числе морских портов). Материалы этих конференций доступны пользователям сети Internet.

Заметим, что в середине 90-х годов в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины был выполнен большой объем исследований, связанных с вопросами базирования судов военно-морского флота, их эксплуатации, ремонта и надёжности. Широкое применение при решении указанных проблем нашли специально разработанные модельно-ориентированные пакеты МОРЖ и РЕМ [1].

В последние годы Институтом кибернетики совместно с Международным Центром Информационных Технологий и Систем ведутся инициативные работы по применению методов имитационного моделирования в задачах исследования процессов функционирования различных типов морских портов [2].

Цель данной работы – представление базированного на современных методах имитационного моделирования подхода к решению проблемы оценки проектных альтернатив применительно к процессам функционирования современного морского порта, включающего в свою инфраструктуру нефтеочистительную установку.

Постановка задачи и определение целей исследования. Необходимо оценить проект модернизации некоторого морского дока, (условно назовем его порт А) ориентированного на бесперебойное снабжение нефтью припортовой нефтеочистительной установки.

Общая схема рассматриваемого дока представлена на рисунке.



РИСУНОК

Нефтеочистительная установка снабжается привозной нефтью, доставляемой танкерами из соответствующего порта доставки (порт Б). Прибывающие в док танкеры швартуются у специально оборудованного причала. Для хранения привозной нефти имеется нефтехранилище – резервуар ёмкостью в 2000 тыс. баррелей (тб). Процесс перекачки нефти осуществляется согласно схеме «танкер → нефтехранилище → нефтеочистительная установка» и регулируются с помощью трех вентилей и следующих заданных критических уровней нефти:

- для танкеров 7,5 тб (после чего прекращается перекачивание нефти из танкера);
- для нефтехранилища 2000 тб, 1600 тб, 50 тб и 5 тб.

Вентиль 1 открыт в течении всей рабочей смены дока с 6.00 часов утра до 24.00 часов (в соответствии с правилами техники безопасности). При закрытом вентиле прекращается перекачка нефти из танкера независимо от уровня оставшейся в нем нефти. Вентиль 2 закрывается по достижении верхней отметки в резервуаре (2000 тб) и открывается после падения уровня до отметки 1600 тб. Вентиль 3 закрывается после падения уровня нефти в резервуаре до отметки 5 тб, открывается – после очередного подъема нефти до уровня 50 тб.

Заметим, что общая постановка задачи и некоторые исходные данные взяты из монографии А. Прицкера «Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II» [3].

В процессе эксплуатации рассматриваемого дока возникла практическая необходимость в двукратном повышении производительности нефтеочистительной установки в условиях ее круглосуточной, непрерывной работы.

В качестве альтернатив, поддерживающих решение поставленной задачи, предлагается рассмотреть проекты модернизации дока за счёт дополнительного ввода в эксплуатацию одного или двух новых причалов, идентичных действующему (подобная структура, одинаковый объём резервуаров, аналогичные схемы перекачки нефти и режимы работы).

Цель исследования:

- оценить эффективность работы функционирующего дока в условиях бесперебойной работы нефтеочистительной установки заданной производительности и определённых режимах перекачки нефти;
- оценить эффективность проектов на основе предложенных альтернатив;
- получить сравнительные характеристики предложенных проектов для экспертного анализа.

Процесс функционирования действующего порта и альтернативные проекты его модернизации должны быть оценены на следующих множествах показателей эффективности:

- основные показатели (число прерываний работы нефтеочистительной установки из-за отсутствия требуемого объёма нефти в нефтехранилищах, распределение общего времени обслуживания танкеров в порту А, распределение времени простоя танкеров в ожидании начала обслуживания);
- дополнительные показатели, обеспечивающие возможность детального анализа процесса функционирования дока (распределение длины входной очереди танкеров, коэффициенты занятости / незанятости причалов в порту А, распределение уровня нефти в нефтехранилищах).

Функция цели определяется как суммарные затраты ресурсов на ликвидацию последствий прерываний в работе нефтеочистительной установки, а ее значение зависит от двух управляемых параметров: количество причалов и количество танкеров доставляющих нефть.

Традиционно исследование сложных систем методом имитационного моделирования базируется на концепции имитационных приложений. При этом основными составляющими таких приложений являются: имитационная модель

исследуемой системы, сценарии реализации компьютерных экспериментов для указанной модели и используемые в эксперименте данные.

Определение имитационной модели. Согласно принятым в методологии имитационного моделирования концепциям любая имитационная модель рассматривается как абстрактное описание исследуемой системы, разработка которого требует в первую очередь установления границ системы, т. е. выделения ее как части реального мира. Применительно к исследуемому доку такие границы определены самим фактом существования и функционирования дока, а процедура абстракции может быть представлена следующим образом.

Порт А абстрагируется как объект типа ДОК, основными атрибутами которого являются: ТАНКЕРНЫЙ ФЛОТ, ПРИЧАЛ, ВХОДНАЯ ОЧЕРЕДЬ ТАНКЕРОВ, НЕФТЕОЧИСТИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ДИСПЕТЧЕР (система контроля и управления работой порта), ПОРТОВЫЕ ЧАСЫ.

ПРИЧАЛ включает объекты РЕЗЕРВУАР, ВЕНТИЛЬ 1, ВЕНТИЛЬ 2, ВЕНТИЛЬ 3. Все вентили характеризуются состоянием открыт/закрыт. Четыре атрибута объекта РЕЗЕРВУАР задают критические для него уровни нефти.

НЕФТЕОЧИСТИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА характеризуется скоростью подачи нефти из РЕЗЕРВУАРА.

Объект типа ТАНКЕРНЫЙ ФЛОТ включает ограниченное множество объектов типа ТАНКЕР, характеризующихся в общем случае различной грузоподъемностью, скоростью хода, скоростью погрузки и разгрузки, схемой поведения, которая отображает обслуживание танкеров в обоих портах и их перемещения из порта в порт.

Объект ПОРТОВЫЕ ЧАСЫ предназначен для отсчета текущего времени в минутах, часах, сутках, месяцах, годах.

Поведение объекта ДИСПЕТЧЕР определяется выполнением следующих функций: отслеживание времени суток; контроль за разгрузкой танкеров; контроль за достижением критических отметок нефтехранилища; управление состоянием всех вентилях.

ВНЕШНЯЯ СРЕДА, формирующая поток загруженных танкеров для порта А, рассматривается как объект типа ПОРТ Б, основными атрибутами которого являются НЕФТЕНАЛИВНЫЕ ПРИЧАЛЫ.

Отметим, что имитационная модель исследуемого порта разработана на языке дискретно - событийного моделирования НЕДИС-Р, развитого и реализованного в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины [4,5]. Все компоненты, представленные в абстрактном описании исследуемого дока, определены в имитационной модели на основании концепции классов (как пользовательских, так и множество специальных, встроенных в язык НЕДИС-Р, например, УСТРОЙСТВО и ОЧЕРЕДИ).

Специальные классы ГЕНЕРАТОР ТАНКЕРОВ, ГЕНЕРАТОР ДИСПЕТЧЕРА, ГЕНЕРАТОР ПОРТОВЫХ ЧАСОВ были разработаны для формирования штатного состава танкерного флота, инициализации диспетчера и запуска портовых часов соответственно.

Заданный уровень детализации в абстрактном представлении исследуемого дока может рассматриваться как приемлемый, поскольку позволяет определить все функциональные компоненты, оказывающие наибольшее влияние на показатели эффективности функционирования дока.

В соответствии с поставленными целями исследований потребовалась разработка двух версий имитационной модели. Первая версия использовалась для исследования процессов функционирования существующего дока, а в качестве входной альтернативы при этом рассматривалось количество доставляющих нефть танкеров. Реализация второй версии, ориентированной на поддержку задачи оценки альтернативных проектов потребовала определения новых объектов ПРИЧАЛ 1 и ПРИЧАЛ 2, а также модификации алгоритма объекта ДИСПЕТЧЕР.

Описание сценариев. В общем случае планирование сценариев экспериментов осуществляется с учетом таких аспектов эксперимента, как стратегия и тактика эксперимента, верификация и валидация имитационной модели, стратегия запуска, задание начальных условий эксперимента, валидация данных, в том числе определение шага и доверительного интервала моделирования.

Основное множество показателей эффективности определяет стратегические цели экспериментов, а дополнительное множество – их тактические цели.

К стратегическим аспектам планирования имитационных экспериментов относится также выбор стратегий поиска оптимальных решений, минимизирующих значение функции цели. В нашем случае использовалась стратегия перебора уровней множества таких факторов, как количество причалов и количество доставляющих нефть танкеров, а также получаемые статистические оценки времени ожидания танкерами начала обслуживания. Значение функции цели определялось как суммарные затраты ресурсов из-за прерываний в работе (простоев) нефтеочистительной установки.

Применительно к исследуемому доку вопросы верификации и валидации имитационной модели достаточно подробно рассмотрены в работе Ю. Чёрного [6]. Отметим только, что верификация имитационной модели осуществлялась на основании анализа по событийной трассировке поведения таких объектов как ГЕНЕРАТОР ТАНКЕРОВ, самих ТАНКЕРОВ, ДИСПЕТЧЕРА и состояний объектов ВЕНТИЛЬ 1, ВЕНТИЛЬ 2, ВЕНТИЛЬ 3 и РЕЗЕРВУАР.

Поскольку оценка показателей эффективности базировалась на применении отдельных временных рядов, то запуск имитационной модели осуществлялся только один раз за весь прогон, а длина периода разогрева имитационной модели (warm up), определяющая точку отсечения начальных наблюдений, была выбрана по ходу имитационных экспериментов равной сорока пяти суткам.

Для задания начального состояния модели использовалось правило – запустить модель с состояния «ПУСТ и СВОБОДЕН».

В качестве доверительного интервала моделирования был выбран период функционирования системы равный пяти годам. Шаг тактировки процесса моделирования выбирался с учетом необходимости точного выхода на критиче-

ские временные отметки в режиме работы порта (6.00 и 18.00), а также на критические уровни нефти в танкере (7,5 тб) и резервуаре (2000 тб, 1600 тб, 50 тб и 5 тб). Последнее возможно в силу постоянной скорости перекачки нефти из танкера и резервуара. В нашем случае шаг моделирования был выбран равным интервалу времени, за который обеспечивалась перекачка 1250 баррелей нефти, что составило 12 мин.

Для поддержки схем реализации имитационных экспериментов в соответствии с запланированными сценариями был разработан специальный класс MAIN, который обеспечивает формирование соответствующих начальных условий и инициализацию эксперимента.

Сравнительная оценка проектных альтернатив. Основные результаты имитационных экспериментов применительно к задачам оценки исследуемых альтернатив представлены в нижеследующих четырех таблицах.

В таблице 1 представлены показатели числа прерываний нефтеустановки функционирующего дока за период один год, два года, пять и десять лет. При наличии в составе танкерного флота тринадцати танкеров происходит в среднем порядка 30 прерываний нефтеустановки за год. При четырнадцати танкерах такие прерывания практически отсутствуют, а пятнадцать танкеров обеспечивают бесперебойную работу нефтеочистительной установки.

ТАБЛИЦА 1. Показатели числа прерываний нефтеустановки для функционирующего дока

Количество танкеров	Число прерываний			
	1 год	2 года	5 лет	10 лет
n = 13	29	64	158	316
n = 14	0	0	1	0
n = 15	0	0	0	0

В таблице 2 представлено число прерываний нефтеочистительной установки для проектируемого дока.

ТАБЛИЦА 2. Показатели числа прерываний нефтеустановки для проектируемого дока

Количество танкеров	Число прерываний	
	2 причала	3 причала
n = 25	347	319
n = 26	212	167
n = 27	29	2
n = 28	0	0

При двух причалах и двадцати пяти танкерах число прерываний нефтеустановки равно 70 ежегодно, а при трёх причалах – приблизительно 60 прерываний нефтеустановки. Для двадцати семи танкеров в случае двух причалов ежегодное число прерываний равно 5, для трёх причалов такие прерывания практически отсутствуют. Оптимальным числом танкеров, поддерживающих бесперебойную работу нефтеочистительной установки, является 28.

Показатели занятости причалов проектируемого дока представлены в табл. 3. Для двадцати пяти танкеров и двух причалов такие показатели равны 0.679 и 0.573, при двадцати восьми танкерах – 0.816 и 0.784, что свидетельствует о перегрузке причалов.

В случае трёх причалов и двадцати пяти танкеров показатели занятости составляют 0.573, 0.405 и 0.234, в случае трёх причалов и двадцати восьми танкерах – 0.784, 0.703 и 0.559 соответственно. Очевидно, что требует корректировки дисциплина назначения причалов.

ТАБЛИЦА 3. Показатели занятости причалов проектируемого дока

Количество танкеров	Коэффициент занятости				
	2 причала		3 причала		
	1-й причал	2-й причал	1-й причал	2-й причал	3-й причал
n = 25	0.679	0.527	0.573	0.405	0.234
n = 26	0.696	0.556	0.592	0.421	0.245
n = 27	0.714	0.588	0.656	0.471	0.288
n = 28	0.816	0.738	0.784	0.703	0.559

Для функционирующего дока при пятнадцати танкерах среднее время обслуживания танкеров в доке составляет 53.8 ч (табл. 4).

Для проектируемого дока при двадцати восьми танкерах и двух причалах такое число составляет 29.0 ч, для трёх причалов этот показатель составляет 29.4 ч, что свидетельствует о дополнительных простоях танкеров.

ТАБЛИЦА 4. Показатели времени обслуживания танкеров в доке (в часах)

Время обслуживания	1 причал			2 причала			3 причала		
	Количество танкеров			количество танкеров			количество танкеров		
	13	14	15	26	27	28	26	27	28
min	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
max	95.4	115.0	135.6	54.8	55.8	129.4	37.2	125.0	156.2
Среднее	25.8	31.0	53.8	21.6	21.8	29.0	17.7	19.2	29.4
Дисперсия	83.7	206.8	617.8	27.1	28.1	222.0	1.86	111.9	701.6
Стандартное отклонение	9.2	14.4	24.9	5.2	5.3	14.9	1.36	10.6	24.5

На основании полученных данных экспертам предстоит решить вопрос об экономической целесообразности предложенных проектов, их эффективности и окупаемости.

Заключение. В данной работе предложен подход к оценке проектных альтернатив который носит достаточно общий характер и может быть использован для исследования других типов морских портов и различного рода транспортных систем. Перспективное направление исследований предполагает разработку средств поддержки стратегий автоматического поиска оптимальных решений для такого рода альтернатив.

В.П. Коваль, В.А. Пепеляев, Ю.М. Чорний

ПРО ОЦІНКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У роботі представлено один із можливих підходів до дослідження та проектування складних систем, що базується на методах імітаційного моделювання та відповідних стратегіях пошуку оптимальних рішень. На основі зазначеного підходу розв'язується задача оцінки та вибору альтернативних проектів стосовно морського доку із нафтоочисною установкою.

V.P. Koval, V.A. Pepeliaev, Yu.M.Tchorny

ABOUT AN EVALUATION OF ALTERNATE SOLUTIONS ON THE BASIS OF SIMULATION METHODS

In the paper there is represented a possible approach to a research and designing of complex systems based on simulation methods and appropriate strategies of optimum solutions searching. On the base of a such approach the problem of an evaluation and choice of the alternate projects concerning sea dock with the refinery is solved.

1. Программные комплексы моделирования процессов эксплуатации сложных технических систем // Е.В. Дубровина, С.В. Игнатов, В.В. Литвинов и др. – Киев: Наук. думка, 1994.–272 с.
2. Мирошниченко В.М., Сахнюк М.А. Реализация жизненных циклов имитационных моделей на основе объектно-ориентированного подхода // Проблемы программирования. – 2000.– № 3–4.– С. 103–111.
3. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II. – М.: Мир, 1987. – 644 с.
4. Гусев В.В., Марьянович Т.П., Пепеляев В.А. Основные принципы разработки системы технологической поддержки распределенного моделирования // Проблемы программирования.– 2000.– № 1–2. – С. 620–625.
5. Галаган Т.Н., Гусев В.В., Марьянович Т.П., Яценко Н.М. Один подход к автоматизации построения распределённой модели из её сосредоточенного аналога // Проблемы программирования. – 2002.– № 1–2.– С. 182–187.
6. Чёрный Ю.М. К вопросу об оценке достоверности имитационных моделей // Компьютерная математика. – 2003.– № 2. – С. 115–126.

Полу чено 15.07.2004